УДК 523.982.8:519.237

Дмитрий Речкин

Солнечная система и солнечная активность

1. Материал и методы

Гипотезы о воздействии планет Солнечной системы на проявления солнечной активности выдвигались неоднократно[1,2,3,4], при этом вопрос о физической природе процессов, определяющих наблюдаемые проявления солнечной активности – либо не ставился вообще, либо решался с использованием частных, ограниченных моделей и подходов.

В рамках данной работы предлагается следующий подход:

- Солнце, как звезда спектрального класса G2V[5], характеризуется наличием *внутреннего ядра*, окружающей его *зоны лучистого переноса*, переходящей в *конвективную зону* и *атмосферу*. В составе последней выделяются *фотосфера*, *хромосфера*, *корона* и *солнечный ветер*. Доля водорода в массе Солнца составляет[6] 73,46%. Несмотря на достаточно высокую ($1{,}57\cdot10^7$***K***) температуру солнечного ядра, возможно, что при сверхвысоких давлениях его электрическая проводимость близка к высокотемпературной сверхпроводимости.

- Сверхпроводимость и сверхтекучесть взаимосвязаны[7], поверхность (граница раздела фаз) солнечного ядра должна демонстрировать неустойчивость в гидродинамическом смысле. Поэтому резонно ожидать, что эта поверхность весьма подвержена деформациям в результате различных флуктуаций (в частности, гравитационных).

- Оценить периодичность и масштаб флуктуаций возможно, поскольку они ведут к «отрыву» от ядра высокоэнергетических «сгустков», постепенно поднимающихся от ядра к фотосфере; по мере продвижения от ядра к поверхности звезды эти сгустки принимают тороидальную форму, как наиболее оптимальную при движении в текучей среде.

- На протяжении всего пути до поверхности тороидальная форма сгустков сохраняется, а за счет высоких внутренних токов поддерживается их более высокая (по сравнению с окружающим веществом) энергонасыщенность. Достигнув фотосферы, тороидальные сгустки прорывают её, образуя видимые солнечные пятна (существующие, как уже доказано, в виде парных структур).

---

[1] J.A.Abreu, J.Beer, A.Ferriz-Mas, K.G.McCracken, F.Steinhilber «Is there a planetary influence on solar activity?» – Astronomy & Astrophysics, Vol. 548 (2012) A88 (https://doi.org/10.1051/0004-6361/201219997)

[2] F.Stefani, A.Giesecke, T.Weier «A Model of a Tidally Synchronized Solar Dynamo» – Solar Physics, Vol.294 (2019), 60 (https://doi.org/10.1007/s11207-019-1447-1)

[3] D.Nandy, P.C.H.Martens, V.Obridko et al. «Solar evolution and extrema: current state of understanding of long-term solar variability and its planetary impacts» – Progress in Earth and Planetary Science, Vol.8 (2021), 40 (https://doi.org/10.1186/s40645-021-00430-x)

[4] N.Z.Alcock «Correlations between Sunspots and Planetary Positions» – Peace Research, Vol.5 (1973), No.10 (http://www.jstor.org/stable/23609306)

[5] W.W.Morgan, P.C.Keenan «Spectral Classification» – Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol.11 (1973), pp. 29-50 (https://doi.org/10.1146/annurev.aa.11.090173.000333)

[6] J.Eddy «A New Sun: The Solar Results From Skylab» – NASA SP-402, 1979;
см. тж. http://solar-center.stanford.edu/vitalstats.html

[7] Б.В.Васильев «Сверхпроводимость, сверхтекучесть и нулевые колебания» – 2014, 75 с. (электронная публикация) (http://www.spsl.nsc.ru/FullText/Книги/01-20140414.pdf)

Таким образом, чем больше флуктуаций, деформирующих ядро Солнца – тем больше всплывающих сгустков и, соответственно, больше пятен. Иными словами, исследуя динамику появления пятен, можно составить представление о динамике сил, влияющих на энергетические выбросы со стороны солнечного ядра (и, как несложно догадаться, опосредованно – на общие показатели динамики солнечной активности).

В работе использованы методы многомерной статистики, в частности – метод главных компонент[8,9,10]. Все необходимые расчёты выполнены с применением калькулятора многомерной статистики STATIC/EX[11] собственной разработки. Программы обработки данных на языке ЯКОБИ[12] приводятся в приложении, исходные данные доступны по указанным ссылкам.

1.1. Показатели солнечной активности

Использовались исходные данные среднегодовых и среднемесячных значений чисел Вольфа, опубликованные на сайте Мирового центра данных SILSO[13]. В соответствии с представлениями о смене магнитной полярности циклов солнечной активности было дополнительно проведено простое преобразование для представления показателей активности с учётом полярности цикла (поочередная смена знака чисел Вольфа, по циклам).

Дополнительно вычислялись (как описано в предыдущей работе[14]) «Фактор E» (наблюдаемый размах активности) и «Фактор X» (скрытая энергетика активности), как с учётом полярности цикла, так и без её учёта.

1.2. Параметры движения Солнца

Основываясь на взглядах Теодора Ландшейдта[15,16], по данным эфемерид Солнца и планет Солнечной системы, Карл Смит (Carl Smith) рассчитал и опубликовал таблицы[17] данных по смещениям барицентра Солнечной системы относительно центра Солнца. Таблицы включают данные (за период с 3000 г. до н.э. по 3000 г. н.э.; всего за 6000 лет, с интервалом 5 суток между отсчётами):

- T_i дата отсчёта (год в десятичном представлении);
- λ_i склонение центра Солнца относительно барицентра Солнечной системы (в градусах);
- R_i отклонение центра Солнца от барицентра Солнечной системы, в долях радиуса Солнца (R_{sun} = 6,957000·10^{10} см);

---

8 K.Pearson «On lines and planes of closest fit to systems of points in space» – Philosophical Magazine 2:559-572 (1901)

9 J.J.Sylvester «On the reduction of a bilinear quantic of the nth order to the form of a sum of n products by a double orthogonal substitution» – Messenger of Mathematics, 19 (1889), 42-46

10 В.М.Ефимов «Обработка временных рядов методом главных компонент» – науч.-техн.бюл./ВАСХНИЛ, Сиб.отд-ние, вып.22, с.32-40. – Новосибирск: 1984

11 Исходные тексты: https://sourceforge.net/projects/jacobi-static, документация: https://groups.io/g/Static

12 В.М.Ефимов, Д.В.Речкин «ЯКОБИ – входной язык пакетов прикладных программ статистической обработки биологических данных» – науч.-техн.бюл./ВАСХНИЛ, Сиб.отд-ние, вып.48, с.12-17. – Новосибирск: 1985

13 SILSO data/image, Royal Observatory of Belgium, Brussels (http://sidc.be/silso/datafiles)

14 Д.Речкин «Невидимая динамика солнечной активности» – Archive.org (2020), ark:/13960/t86j43924, (https://archive.org/details/SunSpots-PCA)

15 T.Landscheidt «Solar Rotation, Impulses of the Torque, in the Sun's Motion, and Climatic Variation» – Climatic Change, Vol.12 (1988), pp. 265-295 (http://plasmaresources.com/ozwx/landscheidt/pdf/CyclicDistributionOfEnergeticX-RayFlares.pdf)

16 T.Landscheidt «Sun-Earth-Man: a Mesh of Cosmic Oscillations» – Urania Trust, 1989 (http://plasmaresources.com/ozwx/landscheidt/pdf/Sun-Earth-Men_116_p_1989.pdf)

17 https://landscheidt.wordpress.com/6000-year-ephemeris

L_i момент импульса, определяется как *L = R·p = R·M·v,* где *R* – отклонение центра Солнца от барицентра Солнечной системы, *M* – масса Солнца, *v* – скорость орбитального движения (M_{sun} = 1,98847·10^{33} г);

τ_i крутящий момент, определяется как *τ = F·R***,** где *F* – действующая сила, *R* – отклонение центра Солнца от барицентра Солнечной системы, вычисляется как отношение приращения момента импульса за период наблюдений к длительности этого периода.

Для расчётов в рамках настоящей работы использовались усредненные (сглаженные) показатели отклонения центра Солнца от барицентра (***R***), момента импульса (***L***) и крутящего момента (***τ***), приведенные к среднемесячным и среднегодовым значениям (по исходным данным Карла Смита).

2. Результаты

2.1. Автокорреляции рядов показателей движения Солнца

Автокорреляции (корреляции значений временного ряда с самим собой в предшествующие годы, в диапазоне лага лет от 0 до 300) на интервале 6000 лет представлены на графике (Рис.1).

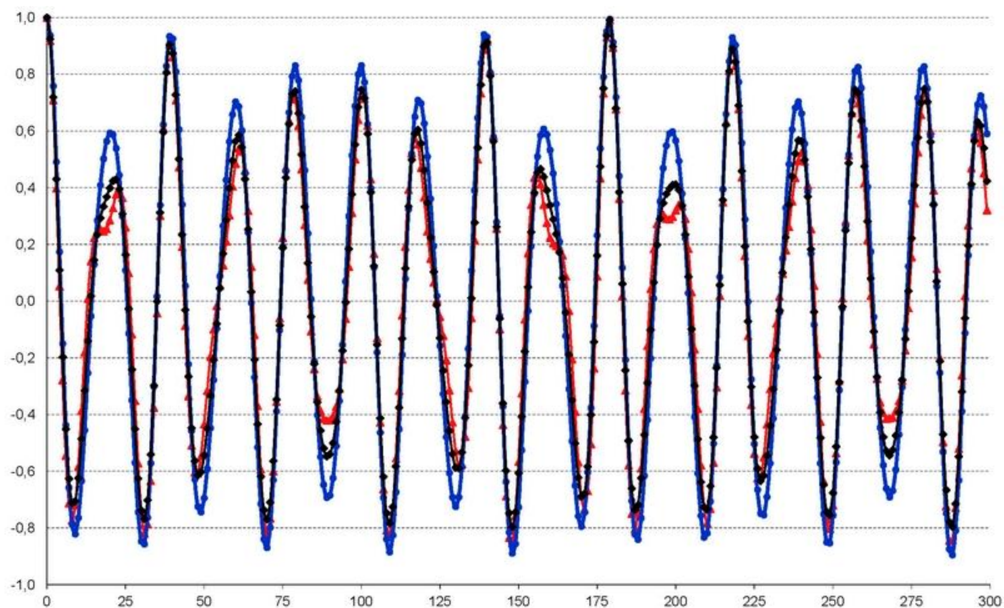


Рис.1. Автокорреляции временных рядов – годичное сглаживание:
R (черная линия и маркеры), ***L*** (синие), ***τ*** (красные)

Ко всем показателям с их временными отсчетами применялось годичное сглаживание. Для ряда значений отклонения центра Солнца от барицентра Солнечной системы максимальное значение автокорреляции составляет 0,991 при лаге до 180 лет; для ряда значений момента импульса максимальная автокорреляция составляет 0,994 при лаге до 180 лет; для ряда значений крутящего момента максимальная автокорреляция составляет 0,991 при том же лаге до 180 лет[18].

Для последующих расчетов важно определить средний период цикличного изменения показателей. Используя данные с годичным сглаживанием при лаге 180 лет, получены такие оценки:

- для ряда значений отклонения центра Солнца от барицентра Солнечной системы средний период составил $\boldsymbol{T_R}$ **= 19,73** года;
- для ряда значений момента импульса средний период $\boldsymbol{T_L}$ **= 19,8** года;

[18] Программа **cSun-year.jac** (см. **Приложение П1**)

- для ряда значений крутящего момента T_τ = **18,5** лет (по всей видимости, сказывается влияние нелинейного характера изменений этого параметра во времени).

Аналогичные расчёты[19] проведены для показателей с месячным сглаживанием, однако в качестве максимального значения лага было выбрано 600 (месяцев, или 50 лет). Для ряда значений отклонения центра Солнца от барицентра Солнечной системы первое максимальное положительное значение автокорреляции составило 0,426 при лаге 261 месяц (21,7 года). Для ряда значений момента импульса первое максимальное положительное значение автокорреляции составило 0,590 при лаге 244 месяца (20,3 года). Для ряда значений крутящего момента первое максимальное положительное значение автокорреляции составило 0,413 при лаге 273 месяца (22,7 лет).

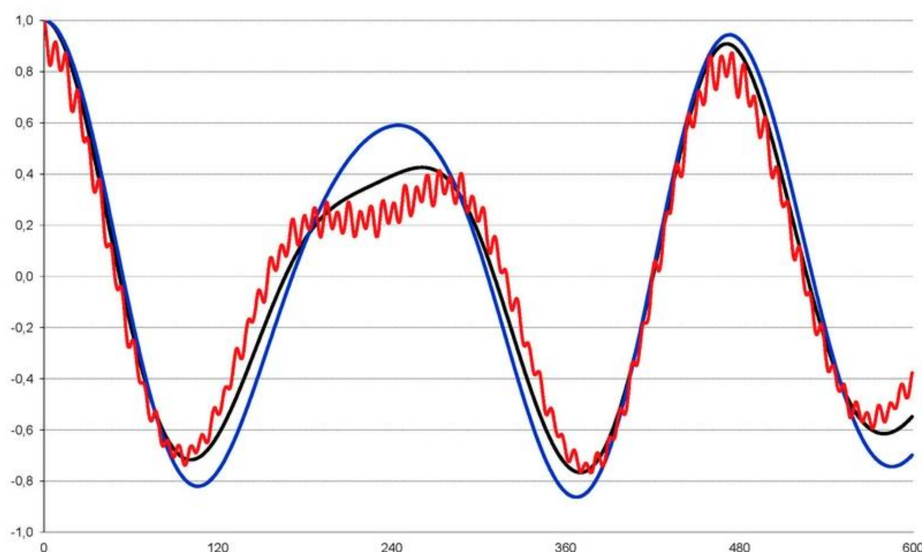


Рис.2. Автокорреляции временных рядов – месячное сглаживание:
R (черная линия), ***L*** (синяя), ***τ*** (красная)

Представленные графики отражают автокорреляции названных временных рядов с помесячным сглаживанием, в диапазоне лага месяцев от 0 до 600 (от 0 до 50 лет).

2.2. Цикличность рядов показателей движения Солнца

В расчётах и демонстрации цикличности процессов, определяющих движение Солнца, использованы данные с годичным сглаживанием при лаге 180 лет. Обработка выполнена методом главных компонент по стандартной для временных рядов схеме. Построены фазовые портреты (проекции траектории процесса на фазовые плоскости главных компонент, в качестве объектов рассматривались годы).

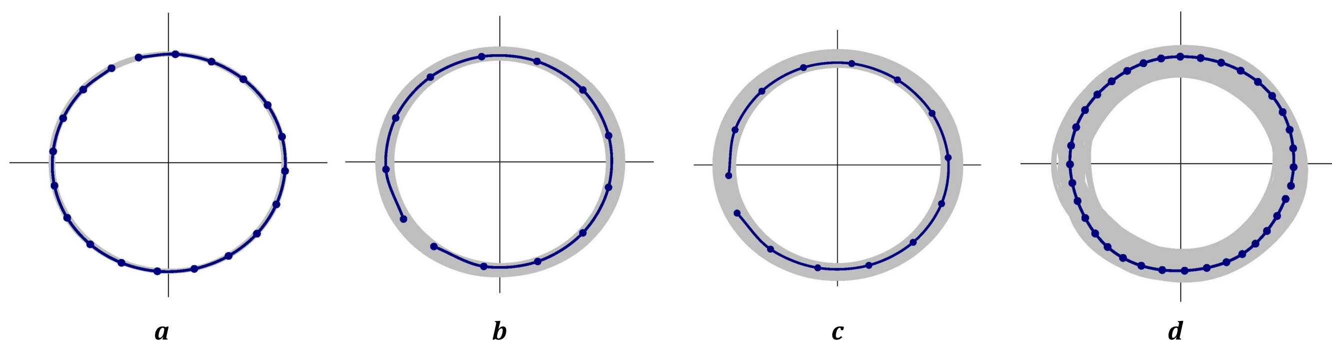


Рис.3. Фазовые портреты ряда смещений центра Солнца относительно барицентра Солнечной системы:
a *– I-II,* ***b*** *– III-IV,* ***c*** *– V-VI,* ***d*** *– VII-VIII главные компоненты*

---

[19] Программа **cSun-month.jac** (см. **Приложение П2**)

На Рис.3 показаны проекции траектории процесса годичных смещений центра Солнца относительно барицентра Солнечной системы (за 3000 лет). С небольшими вариациями все циклические колебания представляют собой гармонические функции вида ***Sin*** (***Cos***), поскольку для них выполняется соотношение $x^2_i + y^2_i = const$, где x_i и y_i – координаты проекции точки (года) на оси соответствующих главных компонент. Для наглядности в каждой из проекций выделен цветом один цикл, для которого отмечены точки, соответствующие годам. Приходящиеся на I-VIII главные компоненты доли дисперсии, а также цикличность соответствующих временных рядов показателей движения Солнца приведены в Табл.1.

На Рис.4 и Рис.5 показаны, соответственно, проекции траектории процессов годичных изменений момента импульса и крутящего момента движения Солнца.

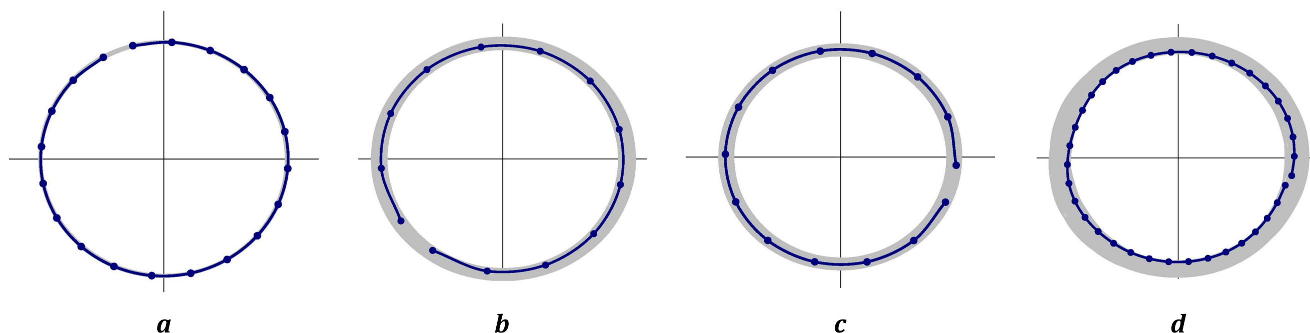


Рис.4. Фазовые портреты ряда момента импульса движения Солнца:
a *– I-II,* ***b*** *– III-IV,* ***c*** *– V-VI,* ***d*** *– VII-VIII главные компоненты*

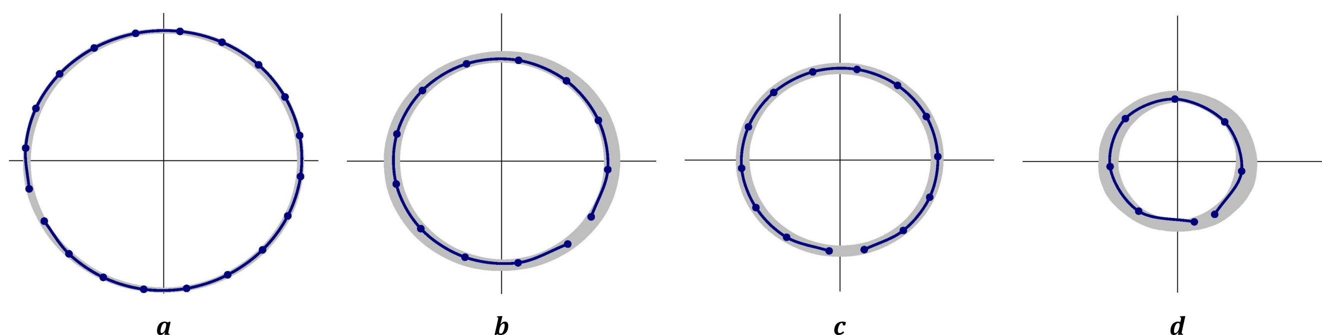


Рис.5. Фазовые портреты ряда крутящего момента движения Солнца:
a *– I-II,* ***b*** *– III-IV,* ***c*** *– V-VI,* ***d*** *– VII-VIII главные компоненты*

Таблица 1

Доли дисперсии главных компонент и цикличность соответствующих временных рядов

	Главные компоненты							
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**
Отклонение центра Солнца относительно барицентра Солнечной системы	33,50%	33,04%	9,96%	9,83%	2,78%	2,76%	1,16%	1,15%
	66,54%		19,79%		5,54%		2,31%	
	19,8 года		12,6 года		13,5 года		35,4 года	
Момент импульса движения Солнца	39,56%	39,01%	7,38%	7,29%	2,42%	2,40%	0,44%	0,44%
	78,57%		14,67%		4,82%		0,88%	
	19,8 года		12,6 года		13,5 года		35,4 года	
Крутящий момент движения Солнца	31,21%	30,77%	14,03%	13,89%	3,95%	3,93%	0,35%	0,35%
	61,98%		27,92%		7,88%		0,70%	
	19,8 года		12,6 года		13,5 года		7,3 года	

Таким образом, при исследовании цикличности временных рядов параметров движения Солнца в Солнечной системе методом главных компонент выявлено, как минимум, четыре периода гармонической цикличности (по убыванию доли дисперсии): **19,8** года, **12,6** года, **13,5** года и **35,4** года. Некоторый интерес может также представлять выявленная цикличность с периодом **7,3** года, проявляющаяся при исследовании временного ряда значений крутящего момента движения Солнца. Ни один из этих периодов не совпадает с известными периодами обращения отдельных планет вокруг центрального светила. Следует напомнить, что точность определения периодов невысока, поскольку в основе расчётов лежат временные ряды с годичным сглаживанием значений.

2.3. Запаздывание в проявлениях солнечной активности

Перед выполнением финальных расчётов влияния движения Солнца на цикличность солнечной активности важно определить запаздывания (фазовые сдвиги) для отдельных временных рядов показателей, вычисленных на основе эфемерид (отклонения центра Солнца от барицентра Солнечной системы, момент импульса и крутящий момент). Поиск оптимальных значений запаздывания (в годах) выполняется по максимальным значениям корреляции рядов показателей солнечной активности (числа Вольфа, как с учётом полярности цикла, так и без нее, факторы «E» и «X») с рядами параметров движения Солнца. Поскольку вычисления[20] проводятся для рядов в ограниченном интервале лет (1700 – 2019), максимальное значение лага приходится ограничить (до 50 лет).

На Рис.6 показано изменение значений коэффициента корреляции между проявлениями солнечной активности и отклонением центра Солнца от барицентра Солнечной системы, в зависимости от лага (интервала запаздывания).

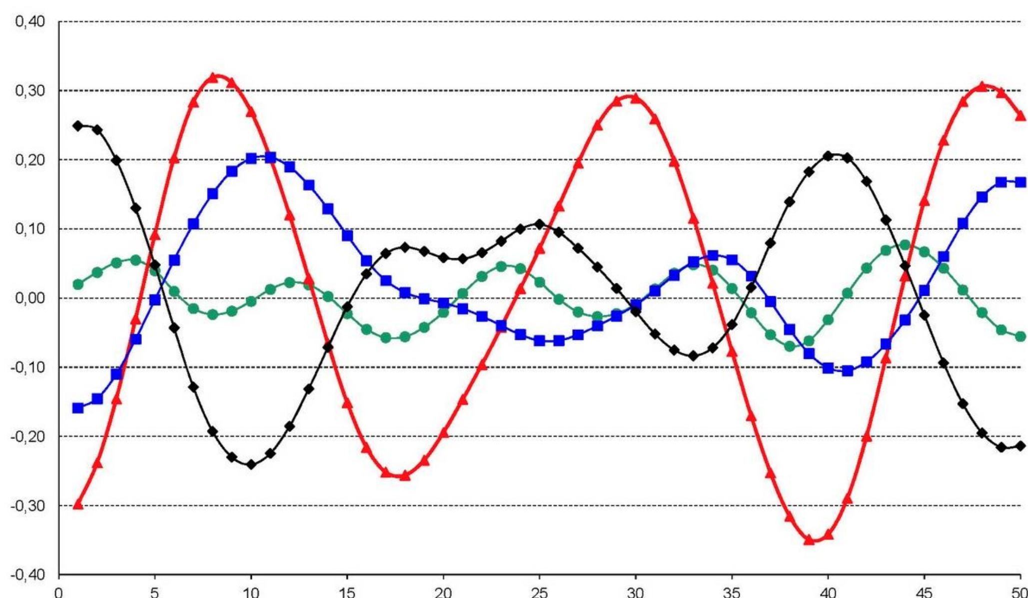


Рис.6. Корреляции проявлений солнечной активности
с отклонениями центра Солнца от барицентра Солнечной системы

Цвет линий обозначает:

- зеленый – среднегодовые чисел Вольфа, без учёта полярности цикла;
- красный – среднегодовые значения чисел Вольфа, с учётом полярности цикла;
- синий – вычисленные значения «Фактора E», без учёта полярности цикла;
- чёрный – вычисленные значения «Фактора X», без учёта полярности цикла.

---

[20] Программа **cSun-Wolf-phase.jac** (см. **Приложение П3**)

На Рис.7 показано изменение значений коэффициента корреляции между проявлениями солнечной активности и моментом импульса движения Солнца, в зависимости от лага (интервала запаздывания), цветовые обозначения – те же.

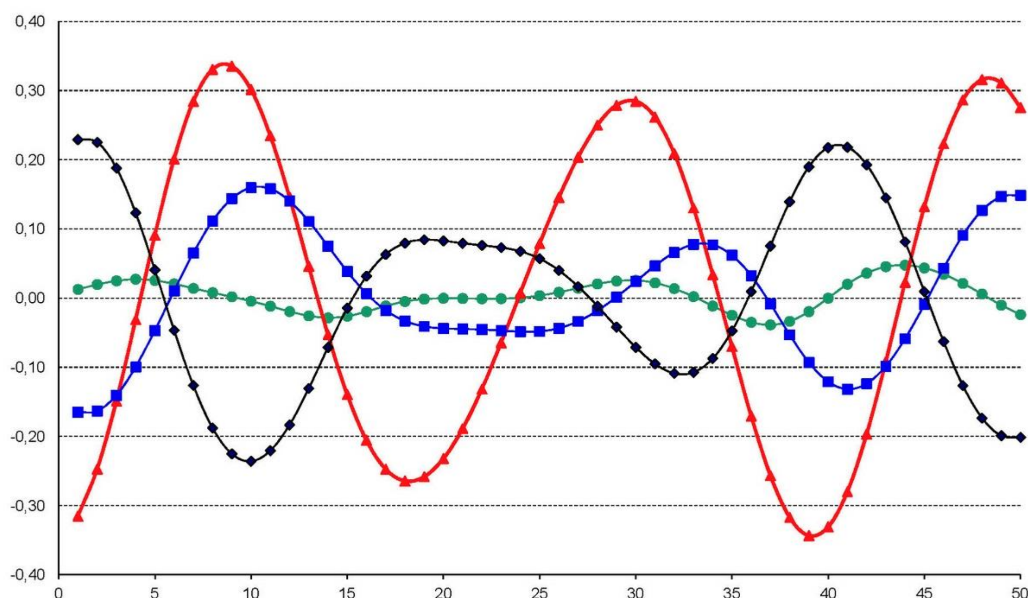


Рис.7. Корреляции проявлений солнечной активности с моментом импульса движения Солнца

На Рис.8 показано изменение значений коэффициента корреляции между проявлениями солнечной активности и крутящим моментом движения Солнца, в зависимости от лага (интервала запаздывания), цветовые обозначения – те же.

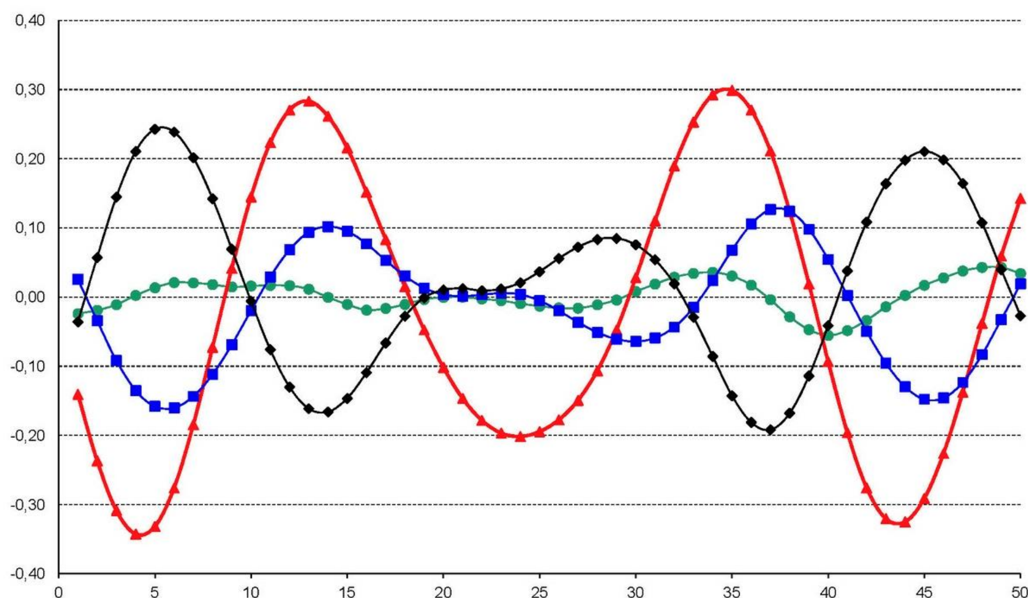


Рис.8. Корреляции проявлений солнечной активности с крутящим моментом движения Солнца

В качестве оптимальных значений лага (количества лет запаздывания) для дальнейших расчётов выбраны:

- для отклонения центра Солнца от барицентра Солнечной системы – 7 лет (по максимальным корреляциям со среднегодовыми числами Вольфа, с учётом полярности цикла; R_7 = 0,319)
- для момента импульса движения Солнца – 7 и 8 лет (по максимальным корреляциям со среднегодовыми числами Вольфа, с учётом полярности цикла; R_7 = 0,331; R_8 = 0,336)

- для крутящего момента движения Солнца – 2, 3 и 4 года (по максимальным [по модулю] корреляциям со среднегодовыми числами Вольфа, с учётом полярности цикла; R_2 = -0,309; R_3 = -0,343; R_4 = -0,332)

В окончательном расчёте использованы данные за 269 лет, соответственно, ошибка коэффициента корреляции не превышает 0,055; полученные корреляции (и, следовательно, вычисленные фазовые сдвиги) являются статистически значимыми (*P<0,05*).

2.4. Влияние движения Солнца на проявления солнечной активности

Итак, для расчёта коэффициентов корреляции, способных продемонстрировать влияние гравитационных возмущений (в частности, возникающих при движении Солнца относительно барицентра Солнечной системы) на показатели солнечной активности использованы следующие данные (период с 1719 по 2019 год, всего 301 год):

- значения среднегодовых чисел Вольфа, без учёта полярности цикла;
- значения среднегодовых чисел Вольфа, с учётом полярности цикла;
- вычисленные значения «Фактора E»;
- вычисленные значения «Фактора X»;
- значения отклонений центра Солнца от барицентра Солнечной системы, с лагом 7 лет;
- значения момента импульса движения Солнца, с лагом 7 и 8 лет;
- значения крутящего момента движения Солнца, с лагом 2, 3 и 4 года.

Полученные значения[21] коэффициентов корреляции (с учетом ошибки) приведены в Табл.2.

Таблица 2

Корреляции показателей солнечной активности с параметрами движения Солнца

	отклонение центра Солнца от барицентра Солнечной системы	**момент импульса движения Солнца**		**крутящий момент движения Солнца**		
	лаг 7 лет	*лаг 7 лет*	*лаг 8 лет*	*лаг 2 года*	*лаг 3 года*	*лаг 4 года*
среднегодовые числа Вольфа, без учёта полярности цикла	-0,020 (0,058)	0,008 (0,058)	0,012 (0,058)	-0,001 (0,058)	0,005 (0,058)	0,007 (0,058)
среднегодовые числа Вольфа, с учётом полярности цикла	***0,357*** (0,050)	***0,370*** (0,050)	0,366 (0,050)	-0,344 (0,051)	***-0,365*** (0,050)	-0,341 (0,051)
вычисленные значения «Фактора E»	**0,139** (0,057)	0,100 (0,057)	**0,128** (0,057)	-0,079 (0,057)	-0,118 (0,057)	**-0,137** (0,057)
вычисленные значения «Фактора X»	**-0,142** (0,056)	-0,139 (0,057)	**-0,165** (0,056)	0,104 (0,057)	0,159 (0,056)	***0,186*** (0,056)

В скобках приведена величина ошибки соответствующего коэффициента корреляции (***N = 301***).

Выделены максимальные [по модулю] коэффициенты корреляции, отражающие несомненное влияние параметров движения Солнца на показатели солнечной активности.

[21] Программа **cSun-Wolf-complex.jac** (см. **Приложение П4**)

3. Обсуждение

Солнечная активность проявляется с определённой периодичностью. Принято считать, что основной период составляет около 11 лет[22] (впрочем, при ближайшем рассмотрении оказывается, что число «11» является «мантрой», а не результатом скрупулезных вычислений). В последнее время преобладает мнение о 22-летней периодичности солнечной активности, основанное на знаниях о смене полярности магнитного поля Солнца и, соответственно, необходимости объединять 11-летние «пики» попарно.

Рассмотрим длительность периодов солнечной активности более детально (Табл.3).

Таблица 3

Продолжительность периодов солнечной активности
по значениям среднегодовых чисел Вольфа (1700-2019)

<table>
<tr><th rowspan="2">Цикл активности (годы)</th><th rowspan="2">Без учёта полярности цикла</th><th colspan="2">С учётом полярности цикла</th></tr>
<tr><th>(+ –)</th><th>(– +)</th></tr>
<tr><td>1700 – 1711</td><td>11</td><td rowspan="2">22</td><td>–</td></tr>
<tr><td>1712 – 1723</td><td>11</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>1724 – 1733</td><td>9</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1734 – 1744</td><td>10</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>1745 – 1755</td><td>10</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1756 – 1765</td><td>9</td><td rowspan="2">18</td></tr>
<tr><td>1766 – 1775</td><td>9</td><td rowspan="2">16</td></tr>
<tr><td>1776 – 1783</td><td>7</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>1784 – 1798</td><td>14</td><td rowspan="2">24</td></tr>
<tr><td>1799 – 1809</td><td>10</td><td rowspan="2">22</td></tr>
<tr><td>1810 – 1822</td><td>12</td><td rowspan="2">22</td></tr>
<tr><td>1823 – 1833</td><td>10</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1834 – 1843</td><td>9</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>1844 – 1855</td><td>11</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>1856 – 1866</td><td>10</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>1867 – 1878</td><td>11</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>1879 – 1889</td><td>10</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>1890 – 1901</td><td>11</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>1902 – 1912</td><td>10</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>1913 – 1923</td><td>10</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1924 – 1933</td><td>9</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1934 – 1944</td><td>10</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1945 – 1954</td><td>9</td><td rowspan="2">18</td></tr>
<tr><td>1955 – 1964</td><td>9</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1965 – 1975</td><td>10</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>1976 – 1986</td><td>10</td><td rowspan="2">19</td></tr>
<tr><td>1987 – 1996</td><td>9</td><td rowspan="2">20</td></tr>
<tr><td>1997 – 2008</td><td>11</td><td rowspan="2">21</td></tr>
<tr><td>2009 – 2019</td><td>10</td><td>–</td></tr>
</table>

[22] Ю.И.Витинский, М.Копецкий, Г.В.Куклин «Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца» — М: Наука, 1986

Отчетливо видно, что реальными наблюдениями не подтверждается преобладание 11-летних или 22-летних циклов. Более точно периоды циклов солнечной активности можно вычислить по среднемесячным числам Вольфа (Табл.4).

Таблица 4

Продолжительность периодов солнечной активности
по значениям среднемесячных чисел Вольфа (1749-2020)

<table>
<tr><th rowspan="2">Цикл активности (годы, месяцы)</th><th rowspan="2">Без учёта полярности цикла</th><th colspan="2">С учётом полярности цикла</th></tr>
<tr><th>(+ –)</th><th>(– +)</th></tr>
<tr><td>1749.01 – 1755.05</td><td>6,3</td><td rowspan="2">17,3</td><td>–</td></tr>
<tr><td>1755.06 – 1766.06</td><td>11,0</td><td rowspan="2">19,5</td></tr>
<tr><td>1766.07 – 1775.01</td><td>8,5</td><td rowspan="2">17,2</td></tr>
<tr><td>1775.02 – 1783.10</td><td>8,7</td><td rowspan="2">23,3</td></tr>
<tr><td>1783.11 – 1798.06</td><td>14,6</td><td rowspan="2">25,7</td></tr>
<tr><td>1798.07 – 1809.08</td><td>11,1</td><td rowspan="2">24,4</td></tr>
<tr><td>1809.09 – 1822.12</td><td>13,3</td><td rowspan="2">23,7</td></tr>
<tr><td>1823.01 – 1833.06</td><td>10,4</td><td rowspan="2">20,0</td></tr>
<tr><td>1833.07 – 1843.02</td><td>9,6</td><td rowspan="2">22,0</td></tr>
<tr><td>1843.03 – 1855.08</td><td>12,4</td><td rowspan="2">23,7</td></tr>
<tr><td>1855.09 – 1867.01</td><td>11,3</td><td rowspan="2">22,5</td></tr>
<tr><td>1867.02 – 1878.04</td><td>11,2</td><td rowspan="2">22,7</td></tr>
<tr><td>1878.05 – 1889.11</td><td>11,5</td><td rowspan="2">23,4</td></tr>
<tr><td>1889.12 – 1901.11</td><td>11,9</td><td rowspan="2">22,1</td></tr>
<tr><td>1901.12 – 1912.02</td><td>10,2</td><td rowspan="2">21,6</td></tr>
<tr><td>1912.03 – 1923.08</td><td>11,4</td><td rowspan="2">21,3</td></tr>
<tr><td>1923.09 – 1933.08</td><td>9,9</td><td rowspan="2">20,3</td></tr>
<tr><td>1933.09 – 1944.02</td><td>10,4</td><td rowspan="2">20,2</td></tr>
<tr><td>1944.03 – 1954.01</td><td>9,8</td><td rowspan="2">20,3</td></tr>
<tr><td>1954.02 – 1964.07</td><td>10,4</td><td rowspan="2">21,2</td></tr>
<tr><td>1964.08 – 1975.04</td><td>10,7</td><td rowspan="2">21,7</td></tr>
<tr><td>1975.05 – 1986.06</td><td>11,1</td><td rowspan="2">21,4</td></tr>
<tr><td>1986.07 – 1996.10</td><td>10,3</td><td rowspan="2">22,1</td></tr>
<tr><td>1996.11 – 2008.08</td><td>11,8</td><td rowspan="2">23,2</td></tr>
<tr><td>2008.09 – 2020.02</td><td>11,4</td><td>–</td></tr>
</table>

Очевидно, что и более точные расчёты не подтверждают преобладание циклов продолжительностью 11 лет либо 22 года.

По всей видимости, надо говорить не о близости среднего периода циклов активности Солнца к какому-то определённому значению, а о множественном влиянии различных физических факторов, по-разному проявляющемся в разные эпохи наблюдений. Кроме того, следует соотносить энергетическую мощность собственных процессов Солнца с мощностью внешних (модулирующих) воздействий. Разумеется, нигде более в Солнечной системе нет электромагнитных полей, хотя бы сравнимых по мощности с полями самого Солнца. Однако влияние гравитационных возмущений может быть заметным, тем более, что оно продолжается в течение нескольких миллиардов лет. Солнечная система стабильна, орбиты планет за пару-тройку миллиардов лет радикально не изменились. Значит, эффект достигнутого резонанса между гравитационными возмущениями, приводящими к смещениям Солнца относительно барицентра Солнечной

системы, а также изменениями момента импульса и крутящего момента может и должен сказываться на проявлениях солнечной активности.

Наиболее значимыми среди периодических гравитационных возмущений являются, как показано выше, колебания с периодом около 19,8 года (от 2/3 до 3/4 совокупных воздействий). Не следует забывать и об эффекте «биений» при наложении нескольких периодических колебаний. Кроме того, существующая методика обработки наблюдений солнечных пятен и вычисления тех или иных значений чисел Вольфа приводит к существенной разнице в динамике соответствующих показателей (см. Рис.9). Да, общий характер цикличности наблюдаемых явлений очевиден – но при сравнении временных рядов среднегодовых и среднемесячных чисел Вольфа становится заметно не только несоответствие дат пиковых и сглаженных значений, но и не всегда чёткое разделение двух циклов, следующих непосредственно друг за другом.

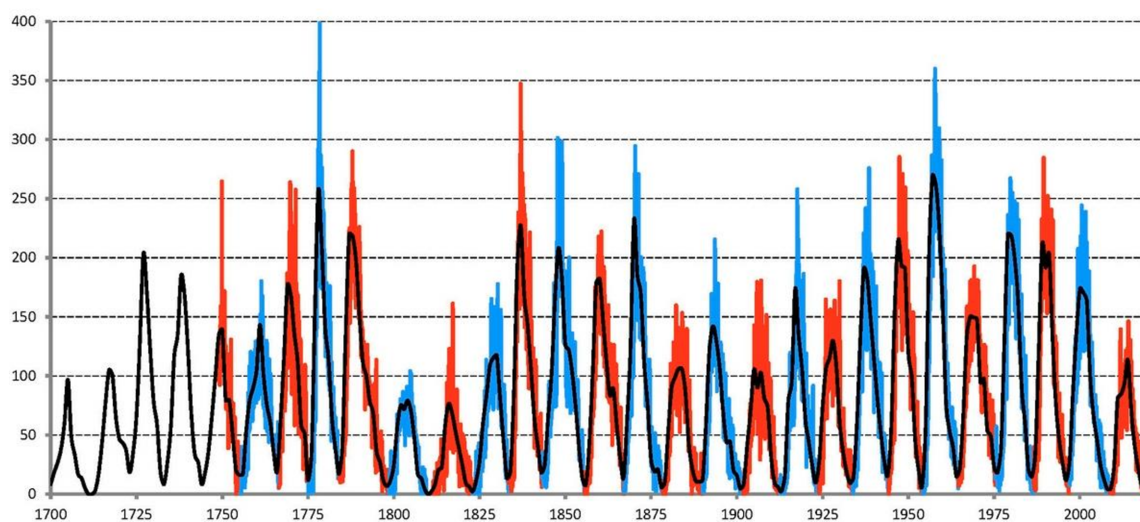


Рис.9. Динамика солнечной активности (числа Вольфа):
черный – среднегодовые значения (1700-2019), красный и синий – среднемесячные (1749-2019);
чередование цветов отражает смену полярности цикла

Характерно, что выявленные периоды модулирующих воздействий не совпадают с периодами обращения отдельных планет – не какая-то одна планета, или только планеты-гиганты оказывают влияние на Солнце, но все планеты Солнечной системы, в той или иной степени, в результате сложных гравитационных взаимодействий.

И неважно, какой физический механизм приводит к спорадическому высвобождению высокоэнергетических фрагментов солнечного ядра, постепенно всплывающих к поверхности светила и отдающих в виде всплесков электромагнитного излучения свой запас энергии в окружающее пространство – важно, что такой механизм существует. И именно на него оказывают модулирующее воздействие гравитационные возмущения, создаваемые всей совокупностью планет Солнечной системы. В заключение хочется предположить, что многолетние наблюдения за звёздами, при обнаружении периодических (модулированных) выбросов электромагнитной энергии, помогут выявить светила, обладающие планетными системами, подобными Солнечной. То есть системами, состоящими не только из планет-гигантов, но также имеющие в своём составе планеты земной группы на ближних орбитах.

Благодарности

Автор выражает глубокую и искреннюю благодарность Д.В.Бубнову, отыскавшему в окружающем нас океане информации данные Карла Смита (о смещениях центра Солнца относительно барицентра Солнечной системы и других параметрах движения Солнца), добросовестно вычисленные им на основе имеющихся эфемерид.

Приложение

Приводится только содержательная часть программ на языке ЯКОБИ; директивы управления протоколом, промежуточной печати и проецирования объектов/признаков на фазовые плоскости не показаны.

П1. Программа **cSun-year.jac** – вычисление автокорреляций для временных рядов годичных показателей движения Солнца

*** выполнить *** year-attr-corr **902**
*** выполнить *** year-attr-corr **903**
*** выполнить *** year-attr-corr **904**
*** конец ***

П1.1. Подпрограмма **year-attr-corr.jac** – подготовка матрицы данных и вычисление корреляций стандартным способом для заданного признака (по годичным данным)

*** очистить память данных ***
*** читать данные *** cSun_tSSB_6000y_x1y
*** ввести объекты с номерами ***][[900-908]
*** создать признак *** [0]
*** копировать значения признака ***][[**$1**] [0]
*** исключить фрагмент матрицы данных *** []]0[
*** создать признаки *** [1-299]
*** копировать значения признака ***][[0]]0[
*** сдвинуть столбцы ***][ ]0[+1
*** исключить объекты с отсутствием данных ***][ ][
*** центрировать столбцы ***][ ][
*** нормировать столбцы ***][ ][
*** вычислить главные компоненты ***][ ][1
*** печатать ковариации(корреляции) *** [0] [0-19]
*** *** [0] [20-39]
*** *** [0] [40-59]
*** *** [0] [60-79]
*** *** [0] [80-99]
*** *** [0] [100-119]
*** *** [0] [120-139]
*** *** [0] [140-159]
*** *** [0] [160-179]
*** *** [0] [180-199]
*** *** [0] [200-219]
*** *** [0] [220-239]
*** *** [0] [240-259]
*** *** [0] [260-279]
*** *** [0] [280-299]
*** конец ***

П2. Программа **cSun-month.jac** – вычисление автокорреляций для временных рядов месячных показателей движения Солнца

*** выполнить *** month-attr-corr **902**
*** выполнить *** month-attr-corr **903**
*** выполнить *** month-attr-corr **904**
*** конец ***

П2.1. Подпрограмма **month-attr-corr.jac** – подготовка матрицы данных и вычисление корреляций стандартным способом для заданного признака (по месячным данным)

*** очистить память данных ***
*** читать данные *** cSun_tSSB_3000y_x1m
*** ввести объекты с номерами ***][ ][
*** создать признаки *** [0-599]
*** копировать значения признака ***][[**$1**] [0-599]
*** исключить фрагмент матрицы данных *** [] [900-908]
*** сдвинуть столбцы ***][ ]0[+1
*** исключить объекты с отсутствием данных ***][ ][
*** центрировать столбцы ***][ ][
*** нормировать столбцы ***][ ][
*** вычислить главные компоненты ***][ ][1
*** печатать ковариации(корреляции) ***][[0]][
*** конец ***

П3. Программа **cSun-Wolf-phase.jac** – поиск оптимального значения запаздывания (в годах) между показателями солнечной активности и показателями движения Солнца

*** выполнить *** cSun-Wolf-phase-corr **902**
*** выполнить *** cSun-Wolf-phase-corr **903**
*** выполнить *** cSun-Wolf-phase-corr **904**
*** конец ***

П3.1. Подпрограмма **cSun-Wolf-phase-corr.jac** – подготовка матрицы данных и вычисление корреляций между показателями стандартным способом

*** очистить память данных ***
*** создать признаки *** [0,1,2]
*** читать данные *** Wolf
*** ввести объекты с номерами ***][[0]
*** копировать значения признака ***][[0] [1]
*** читать данные *** Wolf-sign
*** ввести объекты с номерами ***][[0]
*** копировать значения признака ***][[0] [2]
*** создать признаки *** [700,800]
*** читать данные *** Wolf-EX
*** ввести объекты с номерами ***][[700,800]
*** создать признаки *** [900-908]
*** читать данные *** cSun_tSSB_1700-2019_x1y
*** ввести объекты с номерами ***][[900-908]
*** создать признаки *** [100-149]
*** копировать значения признака ***][[**$1**] [100-149]
*** исключить фрагмент матрицы данных *** [] [0,900-908]
*** сдвинуть столбцы ***][[101-149] +1
*** исключить объекты с отсутствием данных ***][ ][
*** центрировать столбцы ***][ ][
*** нормировать столбцы ***][ ][
*** вычислить главные компоненты ***][ ][1
*** печатать ковариации(корреляции) *** [100-149] [1,2,700,800]][
*** конец ***

П4. Программа **cSun-Wolf-complex.jac** – расчет коэффициентов корреляции между показателями солнечной активности и показателями движения Солнца

*** создать признаки *** [0,1,2]
*** читать данные *** Wolf
*** ввести объекты с номерами ***][[0]
*** копировать значения признака ***][[0] [1]
*** читать данные *** Wolf-sign
*** ввести объекты с номерами ***][[0]
*** копировать значения признака ***][[0] [2]
*** создать признаки *** [700,800]
*** читать данные *** Wolf-EX
*** ввести объекты с номерами ***][[700,800]
*** создать признаки *** [900-908]
*** читать данные *** cSun_tSSB_1700-2019_x1y
*** ввести объекты с номерами ***][[900-908]
*** создать признаки *** [207]
*** копировать значения признака ***][[902] [207]
*** сдвинуть столбцы ***][[207] +7
*** создать признаки *** [307,308]
*** копировать значения признака ***][[903] [307,308]
*** сдвинуть столбцы ***][[307] +7
*** сдвинуть столбцы ***][[308] +8
*** создать признаки *** [402-404]
*** копировать значения признака ***][[904] [402-404]
*** сдвинуть столбцы ***][[402] +2
*** сдвинуть столбцы ***][[403] +3
*** сдвинуть столбцы ***][[404] +4
*** исключить фрагмент матрицы данных *** [] [0,900-908]
*** исключить объекты с отсутствием данных ***][ ][
*** печатать статистические параметры ***][ ][
*** центрировать столбцы ***][ ][
*** нормировать столбцы ***][ ][
*** вычислить главные компоненты ***][ ][1
*** печатать дисперсии компонент ***][0.99
*** печатать собственные векторы ***][ ][0.95
*** печатать ковариации(корреляции) *** [1,2,700,800] [207,307-308,402-404]][
*** печатать ковариации(корреляции) *** [1,2,700,800] [207,307-308,402-404] [1-7]
*** печатать ковариации(корреляции) *** [1,2,700,800] [207,307-308,402-404]]1-7[
*** конец ***